

СТОМАТОЛОГИЯ

УДК 617.52

А. В. Пономарев

СИСТЕМНЫЙ МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ РИСКА РАЗВИТИЯ СИНДРОМА БОЛЕВОЙ ДИСФУНКЦИИ ВНЧС

Самарский государственный медицинский университет, Российская Федерация, 443099, г. Самара,
ул. Чапаевская, 89

Дано обоснование применения системного многофакторного анализа и математического моделирования для диагностики, в том числе выявления, риска развития синдрома болевой дисфункции височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) на основе анкетного автоматизированного экспресс-скрининга этиоanamнестических и ранних признаков дисфункции ВНЧС и использования данного метода в практической деятельности врача-стоматолога. Определение индивидуального интегрального показателя состояния ВНЧС каждого исследуемого дает возможность реализовать практический алгоритм врача по отнесению конкретного объекта исследования к выделенным диагностическим группам: клинической нормы, группы риска дисфункции или группы с синдромом болевой дисфункции ВНЧС, определить четкую информационно-диагностическую траекторию и корректирующие меры. Библиогр. 20 назв. Ил. 7.

Ключевые слова: синдром болевой дисфункции ВНЧС, экспресс-скрининг, системный многофакторный анализ, формализованная модель прогнозирования.

SYSTEM MULTIFACTOR ANALYSIS IN PREDICTION OF RISK OF DEVELOPMENT OF PAIN DYSFUNCTION SYNDROME TMJ

A. V. Ponomarev

Samara state medical University, 89, Chapaevskaya st., Samara, 443099, Russian Federation

The research presents the substantiation of a systemic multivariate analysis and mathematical modeling for diagnostics, including detection of the risk of development of pain dysfunction syndrome of the temporomandibular joint (TMJ) on the basis of automated personal rapid screening of the Ethio-anamnestic and of early signs of TMJ dysfunction and the use of this method in dental practice. Determination of the individual integrated indicator of TMJ condition of each case makes it possible to realize practical algorithm to classify a particular object of study into selected diagnostic groups: clinical standards, risk groups dysfunction or pain dysfunction syndrome of TMJ. This provides clear information, a diagnostic approach and corrective measures. Refs 20. Figs 7.

Keywords: pain dysfunction syndrome of TMJ, a rapid screening system multi-factor analysis, the formal model of prediction.

Введение

Актуальность исследования продиктована большой распространенностью (от 50 до 80 %) [1; 2; 3] и ростом заболеваний ВНЧС. По данным В. В. Баданина [4] и В. А. Хватовой [5], число больных с патологией ВНЧС за период с 2000 по 2008 г. возросло в 3,6 раза.

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2016

Дисфункциональные нарушения (синдром) ВНЧС преобладают среди пациентов с патологией сустава и варьируют от 78,3 до 95,3 % [6]. Поскольку современная стоматологическая наука рассматривает разнообразные концептуальные подходы к анализу этиологических и патогенетических механизмов развития дисфункции ВНЧС [5–8], поиск методов ранней диагностики [9], направленных на предотвращение развития заболевания, приобретает особую актуальность [10; 11].

В современной стоматологической практике диагностика дисфункции ВНЧС основывается главным образом на применении высокотехнологичных методов исследования: функциографии, аксиографии, электромиографии и компьютерной томографии [12]. Данный подход обеспечивает точно выстроенную диагностическую систему, но методологически он может быть реализован только у пациента — объекта исследования с выраженной клинической картиной заболевания, обратившегося за помощью к специалисту. Дисфункция ВНЧС может иметь клиническую картину с различной интенсивностью проявления симптомов и их сочетанием, что формирует социальный стереотип «завтра пройдет» и «терпеть до конца». Пациент обращается к специалистам различного профиля только тогда, когда клинические проявления заболевания превышают индивидуальные пороговые значения организма. Становится очевидным, что высокотехнологичные диагностические комплексы позволяют с высоким уровнем информативности и достоверности определять локализацию и биомеханический уровень уже возникшей дисфункции ВНЧС. Имея внушительный арсенал специальных методов исследования, врачи XXI в. не имеют формализованных методов предупреждения развития заболеваний ВНЧС, а пациенты не знают что делать, больны ли они на самом деле и к какому специалисту нужно обращаться за помощью.

Поэтому целью настоящего исследования стала разработка доступного формализованного метода прогнозирования риска развития синдрома болевой дисфункции ВНЧС.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- разработать и реализовать концепцию экспресс-скрининговой модели индивидуальной оценки биомеханической системы на основе системного многофакторного анализа данных о наличии предрасполагающих факторов и ранних признаков нарушения функции ВНЧС среди населения;
- разработать на основе системного многофакторного анализа данных анкетного экспресс-скрининга рабочую математическую модель прогнозирования риска развития дисфункциональных нарушений в ВНЧС, доступную к практическому применению в информационной среде для населения, медицинских работников первичного звена и специалистов в области стоматологии.

Материал и методы исследования

Исследование проведено на кафедре ортопедической стоматологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, в медицинских организациях первичного звена г.о. Сызрань, г.о. Октябрьск Самарской области, государственном

бюджетном профессиональном образовательном учреждении Самарской области «Сызранский медико-гуманитарный колледж».

Предмет исследования — височно-нижнечелюстной сустав (ВНЧС) как биомеханическая система у клинически здоровых людей и пациентов с синдромом болевой дисфункции сочленения.

Методы исследования: социологический (анкетный автоматизированный экспресс-скрининг), статистический (определение необходимого числа наблюдений, статистической значимости различия средних величин признаков в выделенных группах), системный многофакторный анализ, математическое моделирование, клиническое обследование, ROC-анализ.

На первом этапе проведено изучение композиции этиологических, анамнестических и ранних клинических признаков нарушения функции ВНЧС в двух группах объектов, сформированных после клинического обследования и постановки диагноза путем анкетного скрининга указанных признаков. В основную группу вошли 54 пациента с диагнозом синдром болевой дисфункции ВНЧС, в группу сравнения — 40 объектов исследования. В ходе скрининга объекты исследования указывали на наличие или отсутствие признаков нарушения функции ВНЧС, взаимодействуя с экспериментальной электронной базой вероятных признаков развития заболевания.

В рамках данного этапа оценки состояния биомеханической системы социологический метод исследования включал сбор и фиксацию следующих этиологических, анамнестических и ранних клинических признаков нарушения функции ВНЧС, составивших компонент «причины»:

- наличие протезирования и лечения зубов;
- результаты протезирования (успешное, неуспешное);
- сроки последнего протезирования (менее трех лет, более трех лет);
- наличие стресса;
- наличие травмы зубочелюстной области;
- сторона жевания пищи (с одной стороны, с двух сторон);
- наличие съемных протезов;
- ношение съемных протезов;
- время использования съемных протезов (менее трех лет, более трех лет);
- отсутствие зубов в заднем отделе (не более двух зубов, более трех зубов);
- разрушение зубов в переднем отделе (не более двух зубов, более трех зубов);
- разрушение зубов в заднем отделе (не более двух зубов, более трех зубов);
- количество зубов с пломбами (не более четырех, более пяти).

В ходе исследования были получены следующие признаки количественного и качественного характера, составившие компонент «симптомы»:

- боль в суставе, ее локализация, сторона возникновения, иррадиация, причина (движение в суставе, покой);
- боль в мышцах: наличие симптома, локализация, болезненные точки, сторона возникновения боли, иррадиация, причина (покой, нагрузка);
- наличие щелчка в суставе, условие щелчка (открывание, закрывание рта), сторона возникновения, боль при щелчке;
- лицевые боли: наличие симптома причины (движение нижней челюсти, иные причины);

- скованность в шее: наличие симптома, причина (движение нижней челюсти, иные причины);
- боль в шее: наличие симптома, причина (движение нижней челюсти, не связано с движением);
- жжение языка: наличие симптома, причины;
- сухость во рту: наличие симптома;
- заложенность и шум в ушах;
- характеристика динамики открывания рта (свободное, затрудненное, гладкое, скачкообразное, со смещением или без смещения в сторону);
- онемение пальцев рук.

Таким образом, в системе опроса учитывались два компонента, соответствующие двум блокам данных: «причины» и «симптомы». Информация от объектов исследования получалась по дихотомическому принципу изложения, в ходе которого объекты исследования отмечали наличие или отсутствие конкретного признака со стороны зубочелюстной системы. Затем проводилась индексация признаков с использованием трехбалльной шкалы. Количественные индексы были назначены по принципу: отсутствие признака — индекс «1», наличие признака — индекс «2». Качественные признаки индексировались следующим образом: отсутствие характеристики признака — индекс «1», наличие характеристики признака — индекс «3».

Дихотомический принцип построения ответов выбран нами из соображения корректности ответа респондента, который способен указать максимально полярные значения «да» или «нет», «справа» или «слева», но не способен точно фиксировать признак, обладающий одной или многими характеристиками.

Указанные признаки фиксировались в электронной базе данных, после чего проводилась композиция количественного признака с его качественной характеристикой в факторы на основании структуры известных патогенетических механизмов дисфункции.

В качестве примера можно привести формирование факторов из признака «щелчок». На промежуточном этапе композиции фактора мы рассматривали четыре признака: «отсутствие щелчка», «щелчок с двух сторон», «щелчок справа», «щелчок слева», с которыми были ассоциированы характеристики «в начале открывания рта» и «в конце открывания рта». На заключительном этапе композиции мы компилировали следующие факторы: «отсутствие щелчка в начале открывания рта» и «наличие щелчка в начале открывания рта» и т. д.

Таким образом, из одного признака получено восемь факторов, которые обладали и качественной, и количественной характеристикой.

Планирование и статистическое обоснование количества наблюдений для решения задач с надежностью $P = 0,95$ проведено по авторской методике [13].

После статистической обработки установлены статистически значимые различия средних значений этиологических, анамнестических и ранних клинических признаков нарушения функции ВНЧС в основной группе и группе сравнения путем расчета критерии Стьюдента и сопоставления последнего с его табличным значением в соответствии с нулевой гипотезой о равенстве средних величин при $P \leq 0,05$. По всем признакам установлены статистически значимые различия средних значений в группе пациентов с синдромом болевой дисфункции и в группе сравнения.

Оценка состояния биомеханической системы на основе полученных статистических данных проводилась с использованием системного многофакторного анализа [13], в ходе которого средние значения, отражающие количественные и качественные характеристики факторов, преобразовывались в относительные разности, были рассчитаны коэффициенты влияния (весовые коэффициенты), интегральный показатель. Значение интегрального показателя в группе сравнения было принято за ноль. Интегральный показатель представляет собой средневзвешенную величину, характеризующую состояние системы в настоящий момент и в динамике.

Данный подход обусловлен направленной структурой построения математической модели, определяющей значения интегрального показателя для сбалансированной биомеханической системы клинически здоровых объектов исследования и пациентов с синдромом болевой дисфункции ВНЧС (рис. 1).

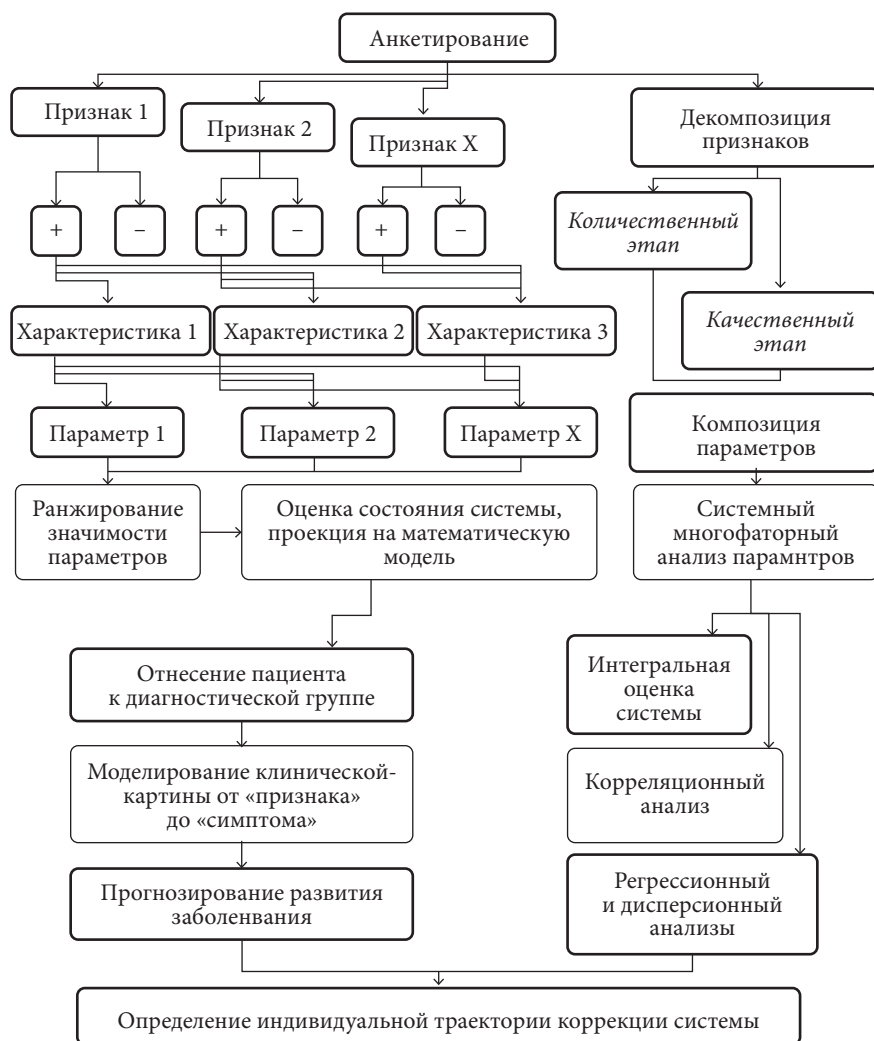


Рис. 1. Структурный алгоритм математического моделирования данных экспресс-скрининга биомеханической системы

В рамках клинического обследования в выделенных группах первого этапа исследования были заполнены карты обследования, где отмечено наличие жалоб, анамнез, стоматологический статус и постановка предварительного диагноза, который подтвержден дополнительными объективными методами исследования: компьютерной томографией ВНЧС в боковой проекции и псевдомонопольной интерференционной электромиографией жевательных мышц.

В завершении первого этапа разработки скрининговой модели оценки состояния биомеханической системы была получена теоретическая математическая модель с интегральными показателями сбалансированной системы и системы в условиях функциональных нарушений ВНЧС.

На втором этапе исследования решалась задача выделения диагностических групп со сбалансированной биомеханической системой, высоким риском развития функциональных нарушений биомеханической системы и функциональным нарушением исследуемой системы. Для определения возможности выделения диагностических групп нами использована теоретическая математическая модель, полученная на первом этапе, она принята за тарировочную, так как коэффициенты влияния по всем факторам были значимы.

В рамках второго этапа проведена оценка состояния исследуемой системы в большой выборке — 588 объектов, в которую вошли случайные добровольцы, изъявившие желание пройти экспресс-скрининг: учащиеся вузов, ссузов Самарской области, служащие, пациенты стоматологических поликлиник, обратившиеся по поводу лечения или протезирования.

В ходе скрининга объекты исследования отмечали наличие этиологических, анамнестических и ранних клинических признаков нарушения функции ВНЧС, взаимодействуя с разработанной нами программой, выполненной в среде программирования Delphi 7, включающей электронную базу признаков и факторов развития патологии, математическую модель оценки состояния биомеханической системы в рамках интегрированной среды разработки, представляющей средства для создания понятного интерфейса.

Разработанная программа позволяет создавать несколько рабочих мест, осуществлять оперативный ввод данных, их хранение, визуализацию исследуемого признака, процесса обработки данных, оценку исследуемой системы в виде индивидуального интегрального показателя, а также дать краткие рекомендации пациенту по дальнейшей тактике (рис. 2).

Результаты исследования

Математическое моделирование на основе системного многофакторного анализа композиции этиологических, анамнестических и ранних клинических признаков нарушения функции ВНЧС в основной группе и группе сравнения, сформированных после клинического обследования и постановки диагноза, позволило рассчитать степень их влияния на сбалансированность исследуемой системы. Интегральный показатель (X_{bi}) сбалансированной системы с определенным граничным значением находится в диапазоне от 0 до $-0,04$.

Установлено, что приоритетное значение для поддержания баланса имеют следующие факторы: «отсутствие скованности в шее в покое и при движении головы»

Рис. 2. Программный интерфейс оценки состояния биомеханической системы, определение состояния и индивидуальной траектории коррекции системы

(весовой коэффициент $P_i = 160,0$); «отсутствие онемения пальцев рук» ($P_i = 160,0$); «свободное открывание рта без смещения нижней челюсти в сторону» ($P_i = 160,0$); «отсутствие щелчка при различных движениях нижней челюсти» ($P_i = 160,0$); «разрушение менее трех зубов в переднем отделе» ($P_i = 82,11$); «отсутствие сухости во рту» ($P_i = 82,11$); «отсутствие шума в ушах» ($P_i = 82,0$); «отсутствие заложенности ушей» ($P_i = 56,22$) (рис. 3).



Рис. 3. Весовые коэффициенты скрининговых факторов сбалансированной системы

В ходе системного многофакторного анализа данных скрининговой оценки системы определена структура системных факторов, по направлению влияния сбалансированности исследуемой системы. Такие системные факторы, как «отсутствие щелчка при различных движениях нижней челюсти», «свободное открывание рта без смещения нижней челюсти в сторону», могут быть объединены в группу артикуляционных факторов, специфичных к сбалансированному взаимодействию артикуляционного и нейромышечного компонентов биомеханической системы.

Такие факторы, как «отсутствие скованности в шее в покое и при движении головы», «отсутствие онемения пальцев рук», а также отологические факторы определяют сбалансированность как макросистемные.

В результате системного многофакторного анализа данных экспресс-скрининга 54 пациентов с синдромом болевой дисфункции ВНЧС рассчитан интегральный показатель $X_{bi} = -0,139 (\pm 0,034)$, определивший статус исследуемой системы как «разбалансированный». Наибольшее влияние на формирование и поддержание дисбаланса биомеханической системы оказывают следующие факторы: сохраняющееся неудобство после протезирования или лечения зубов ($P_i = 77,27$), наличие искривленной траектории открывания рта ($P_i = 42,0$), жжение языка в покое ($P_i = 38,16$), отсутствие или неиспользование съемного протеза ($P_i = 32,67$), затрудненное по амплитуде открывание рта ($P_i = 29$) (рис. 4).

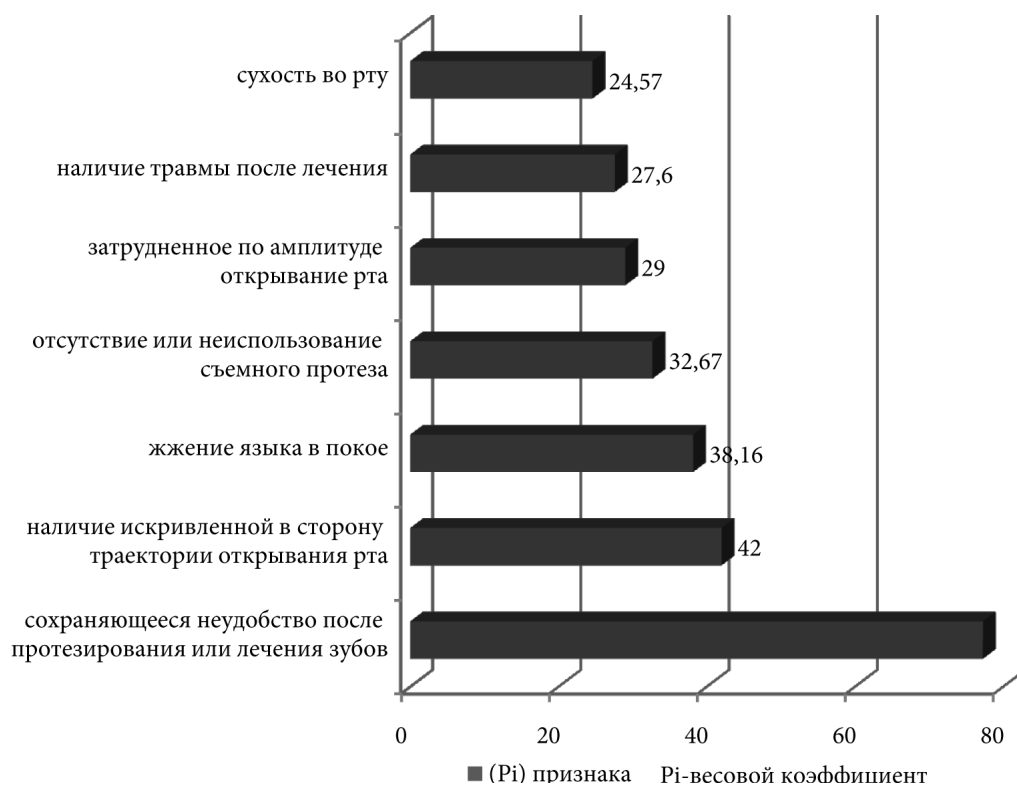


Рис. 4. Весовые коэффициенты скрининговых факторов разбалансированной системы

Вышеобозначенные по весовым коэффициентам дестабилизирующие систему факторы характеризуют окклюзионные взаимоотношения после лечения и протезирования зубов, а также артикуляцию, в частности вертикальные движения нижней челюсти. Совокупность факторов, характеризующих измененную траекторию и амплитуду открывания рта, определяет специфичность артикуляционного и нейромышечного компонентов исследуемой системы.

Таким образом, с помощью системного многофакторного анализа композиции этиологических, анамнестических и ранних клинических признаков нарушения функции ВНЧС в основной группе и группе сравнения была разработана теоретическая математическая модель, принятая нами за тарировочную.

На втором этапе исследования была сформирована гипотеза о способности математической модели выделять группу высокого риска развития синдрома болевой дисфункции ВНЧС на основе рассчитанных граничных значений интегральных показателей, характеризующих состояние сбалансированной системы ($X_{bi} = -0,04 \pm 0,009$) и системы в условиях дисбаланса ($X_{bi} = -0,139 \pm 0,034$).

В рамках данного этапа была проведена оценка состояния исследуемой системы у 588 объектов исследования.

На основании расчета интегральных показателей состояния исследуемой системы для каждого объекта исследования, когда индивидуальные интегральные показатели помещались в рамки граничных значений тарировочной математической модели, определены объекты исследования со сбалансированной системой в количестве 226 человек. Приоритетные скрининговые факторы, поддерживающие баланс системы, совпали с таковыми при получении тарировочной математической модели на первом этапе исследования.

Для определения стоматологического статуса этой части объектов исследования было проведено клиническое обследование 114 человек, случайно отобранных из 226 человек и давших согласие на клиническое обследование у специалиста. По данным клинического обследования трем объектам исследования (2,6 %) был поставлен диагноз «синдром болевой дисфункции ВНЧС», интегральный показатель состояния системы, по данным анкетного скрининга, у всех троих составил $X_{bi} = -0,04$, что соответствует граничному значению сбалансированной системы.

У 115 объектов исследования интегральный показатель находился в диапазоне граничных значений разбалансированной системы (от $X_{bi} = -0,139$ до $X_{bi} = -0,11$). Приоритетные скрининговые факторы, определяющие дисбаланс системы, совпали с тарировочной математической моделью.

При проведении клинического обследования данной группы у шести объектов исследования клинический диагноз синдрома болевой дисфункции не подтвердился, индивидуальные интегральные показатели данных анкетного скрининга у них находились в диапазоне (от $X_{bi} = -0,15$ до $X_{bi} = -0,13$).

Далее была определена диагностическая группа высокого риска дисбаланса исследуемой системы на основании граничных значений интегральных показателей сбалансированной системы ($X_{bi} = 0 \pm 0,017$), которая по направлению к разбалансированной ограничена интегральным показателем $X_{bi} = -0,04$, и граничной области интегрального показателя системы в состоянии дисбаланса ($X_{bi} = -0,15 \pm 0,025$), которая по направлению к сбалансированной системе ограничена значением $X_{bi} = -0,11$.

Таким образом, была сформирована третья диагностическая группа высокого риска дисбаланса системы с граничными значениями интегрального показателя от $X_{bi} = -0,04$ до $X_{bi} = -0,11$. В эту группу вошли 247 объектов исследования. Выраженное влияние на состояние биомеханической системы в указанной диагностической группе имели такие факторы, как «наличие искривленной в сторону траектории открывания рта» ($P_i = 633,26$), «открывание рта со смещением нижней челюсти в сторону» ($P_i = 330,58$), «отсутствие или разрушение зубов в переднем отделе» ($P_i = 244,75$), «наличие болезненных участков собственно жевательных мышц» ($P_i = 218,33$). В процессе математического моделирования определено, что ведущими в группе высокого риска дисбаланса системы являются факторы, определяющие воспроизведение окклюзионных взаимоотношений после протезирования зубов, а также факторы, характеризующие артикуляцию, в частности искривление траектории вертикальных движений нижней челюсти.

В результате проведенного клинического обследования этой группы боль в области ВНЧС выявлена у 30,3 %, боль в жевательных мышцах — у 21,4 %, щелчок — у 48,2 %, жжение кончика языка — у 7,1 %, отолгические симптомы — у 32,1 %, затруднение пережевывания пищи — 41,07 %, онемение пальцев рук — у 35,7 %. Соотношение жалоб в выделенных диагностических группах отражено на рисунке 5.

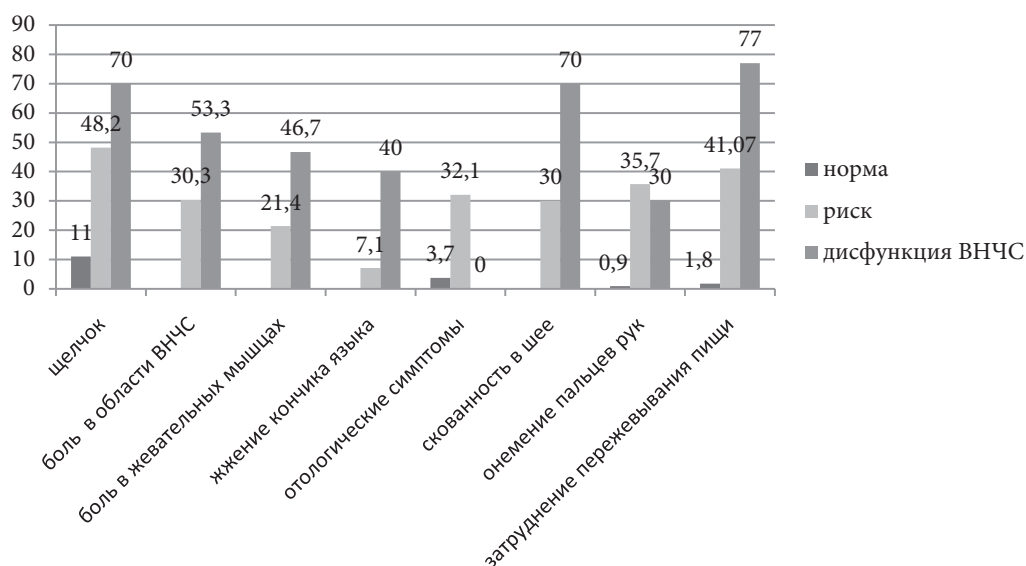


Рис. 5. Соотношение жалоб в диагностических группах (в %)

Диагноз синдрома болевой дисфункции в диагностической группе высокого риска после проведенного клинического обследования не выставлен ни одному из объектов исследования. На втором этапе исследования получена рабочая математическая модель для выделения диагностических групп.

Практическим результатом разработки рабочей математической модели на основе системного многофакторного анализа данных анкетного скрининга стала возможность формализованной оценки состояния биомеханической системы.

На основе ROC-анализа обоснованы чувствительность и специфичность разработанного метода, которые составили 99,08 % и 98,65 % соответственно. ROC-кривая представлена на рисунке 6.

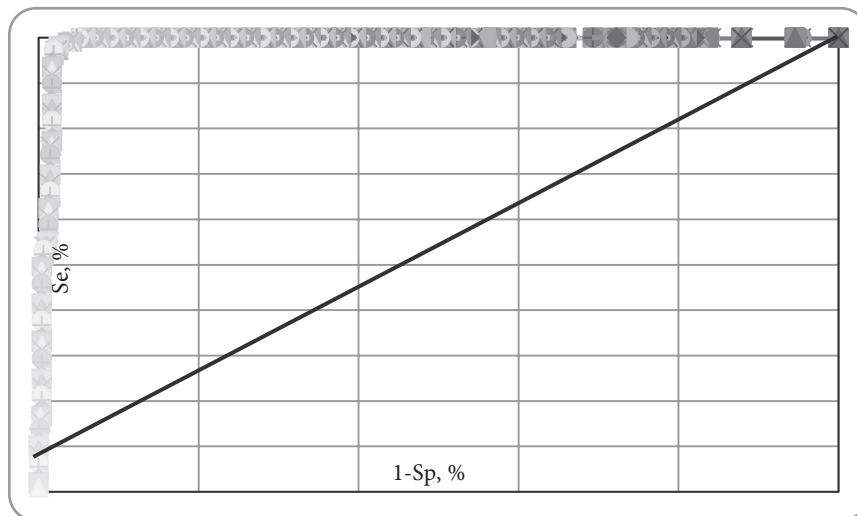


Рис. 6. ROC-кривая

Таким образом, разработанный метод прогнозирования риска развития синдрома болевой дисфункции ВНЧС, основанный на системном многофакторном анализе и математическом моделировании данных анкетного скрининга в программной среде с расчетом индивидуального интегрального показателя объекта исследования, является прогностически достоверным и доступным.

Обсуждение результатов

Отработанная методология научного исследования с помощью внедрения методов статистического анализа и математического моделирования широко применяется учеными Самарского медицинского университета в теоретической и практической медицине, так как позволяет объективно оценивать по интегральным показателям характер и направленность изучаемых процессов в различных биологических системах организма — нервной, эндокринной, иммунной и крови, сердечно-сосудистой, опорно-двигательной и пищеварительной [15].

Значителен спектр научных трудов, в которых математическое моделирование применено как метод оценки морфофункционального состояния биосистем. Определенную востребованность математическое моделирование получило как метод диагностики и прогнозирования [14; 16].

Модели прогнозирования с вычислением интегрального показателя как способ оценки состояния зубочелюстной системы и ВНЧС в частности в доступной информационной научной литературе не встречаются. Имеют место отдельные публикации [17]. В исследовании М.В. Джалаловой и В.А. Ерошина [18] приводятся результаты численного исследования методом конечных элементов полей

напряжения костной ткани в окрестности различных имплантатов, а также значение их перемещений и коэффициентов жесткости. Математическое моделирование равновесия периодонта зуба применено в исследованиях белорусских ученых [19], изучено напряжение соединения периодонта с корнем зуба.

Имеет место ряд работ по интеграции физических и математических моделей, по специальности «системы автоматизации проектирования» представлены математические модели и методы расчета биомеханических конструкций в стоматологии, применен метод конечных элементов. В работах ученых Пермской медицинской академии (О. С. Гилева, М. А. Муравьева) в рамках эксперимента были получены математические модели диффузии в микроканалах зубной эмали [20].

Реализованный в настоящем исследовании системный подход к оценке состояния ВНЧС как биомеханической системы у объектов исследования с наличием этиоanamнестических и предрасполагающих факторов развития синдрома болевой дисфункции ВНЧС на основе системного многофакторного анализа имеет значительную прогностическую ценность и доступен в применении.

Используя тарифовочную математическую модель, врач-стоматолог получает возможность реализовать практический алгоритм коррекции биомеханической системы (рис. 7) ВНЧС конкретного пациента.



Рис. 7. Практический алгоритм врача по анализу данных анкетного экспресс-скрининга состояния ВНЧС как биомеханической системы

На этапах реализации практического алгоритма врача по анализу данных экспресс-скрининга биомеханической системы пациента ключевым звеном является проведение системного многофакторного анализа, позволяющего реализовать системный подход на основе математического моделирования и провести объективную оценку исследуемой системы. Практическая реализация системного

многофакторного анализа данных экспресс-скрининга заключается в отнесении конкретного объекта исследования к выделенным диагностическим группам: клинической нормы, группы риска по дисфункции ВНЧС или группы с дисфункцией ВНЧС. Выработка этиопатогенетического плана коррекции основывается на оценке наиболее значимых признаков, влияющих на состояние биомеханической системы объекта исследования и определенных путем математического моделирования.

На основе математического моделирования данных экспресс-скрининга врач получает возможность поставить диагноз уже на доклиническом уровне развития патологии. Путем динамического мониторингирования данных экспресс-скрининга посредством трехкратного исследования состояния биомеханической системы через одинаковые промежутки времени врач получает дополнительную возможность прогнозирования начала заболевания.

Данный подход реализуется основой математического моделирования — системным многофакторным анализом, позволяющим множественные структурные дихотомические признаки переводить в качественные и количественные параметры, определять иерархию их влияния на систему, проводить оценку последней средневзвешенной интегральной величиной, определять корреляционные связи между блоками «причины» и «симптомы» и, используя метод параболической регрессии, прогнозировать развитие дисфункции ВНЧС во времени.

Примером может служить клиническая ситуация объекта исследования М., 36 лет. Симптомы со стороны ВНЧС и жевательных мышц: периодическое щелканье в суставе. В ходе экспресс-скрининга данных биомеханической системы был определен индивидуальный интегральный показатель со значением $X_{bi} = -0,09$, что позволяет отнести объект к группе риска по синдрому болевой дисфункции ВНЧС. Был определен наиболее значимый признак, влияющий на биомеханическую систему данной группы объектов исследования, характеризующийся чрезмерной амплитудой открывания рта ($P_i = 67,6$). Математическое моделирование развития полной клинической картины дисфункции ВНЧС показало вероятность возникновения патологии с достоверностью 95 % через семь месяцев. Пациенту было рекомендовано ограничение амплитуды открывания рта до 2,4 см между режцами верхней и нижней челюсти по методу Ю. А. Петросова, жевание пищи в измельченном и нарезанном виде с двух сторон, массаж жевательных мышц. Через два месяца наблюдения индивидуальный интегральный показатель состояния биомеханической системы объекта исследования составил $X_{bi} = -0,02$, который попадает в доверительный интервал граничных значений интегрального показателя группы клинической нормы и характеризует функцию биомеханической системы как сбалансированную.

Определение индивидуальной траектории коррекции биомеханической системы объекта исследования зависит от значения интегрального показателя состояния системы, спроецированного на тарировочную математическую модель, и последующего отнесения пациента к соответствующей диагностической группе.

Выстроенный алгоритм взаимодействия отдельного объекта исследования с разработанной программой для ЭВМ, выполненной в среде программирования Delphi 7, включающей электронную базу признаков развития патологии, математическая модель оценки состояния биомеханической системы с использованием системного многофакторного анализа в рамках интегрированной среды доступно-

го интерфейса дают возможность массового обследования населения для осуществления своевременных профилактических и корректирующих мер по предотвращению развития синдрома болевой дисфункции ВНЧС.

Литература

1. Тимофеева М. И., Мальцев С. Н., Зубарев В. А. Оценка функционального состояния жевательных и височных мышц при дисфункции ВНЧС // Очерки медико-социальной реабилитации детей с проблемами здоровья. Ч. II. Екатеринбург, 1995. С. 41–44.
2. Dos Reis A. C., Hotta T. H., Ferreira-Jeronimo R. R. et al. Ear symptomatology and occlusal factors: A clin. rep. // J. Prosthet. Dent. 2000. Vol. 83, No 1. P. 21–24.
3. Семелева Е. И. Диагностика и лечение зубочелюстных аномалий, осложненных остеоартрозом височно-нижнечелюстных суставов: дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2014. 117 с.
4. Баданин В. В. Клинико-рентгенологические исследования и магнитно-резонансная томография в диагностике функциональных нарушений височно-нижнечелюстного сустава и их ортопедическое лечение: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 2002. 54 с.
5. Хватова В. А. Клиническая гнатология. М.: Медицина, 2008. 296 с.
6. Петросов Ю. А., Ермошенко Р. Б., Сеферян Н. Ю., Калпакьянц О. Ю. Факторы риска в возникновении дисфункции в височно-нижнечелюстном суставе // Современная ортопедическая стоматология. 2007. № 8. С. 100–101.
7. Караков К. Г., Хачатурян Э. Э., Саргисян А. Э., Еременко А. В. Неврологические расстройства в структуре развития синдрома дисфункции височно-нижнечелюстного сустава // Материалы 49-й Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы стоматологии». Ставрополь: СтГМУ, 2014. С. 148–151.
8. Хачатурян Э. Э. Комплексный подход к диагностике и терапии болевой дисфункции височно-нижнечелюстного сустава: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 2013. 35 с.
9. Щербаков А. С., Петрикас И. В., Буланов В. И., Загорко М. В. Изучение распространенности и диагностика функциональных нарушений ВНЧС у лиц молодого возраста // Институт стоматологии. 2013. № 1 (58). С. 18–19.
10. Потапов В. П. Системный подход к обоснованию новых методов диагностики и комплексному лечению заболеваний височно-нижнечелюстного сустава при нарушении функциональной окклюзии: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Самара, 2010. 247 с.
11. Силантьева Е. Н. Возрастные особенности синдрома болевой дисфункции ВНЧС // Казанский медицинский журнал. 2010. № 5. С. 669–675.
12. Адоньева А. В., Доронин Б. М., Брега И. Н., Воронай Н. Г., Сысолятин П. Г. Первичная диагностика и лечение миофасциального болевого синдрома лица в условиях амбулаторного стоматологического приема // Лечащий врач. 2011. № 5. С. 16–24.
13. Углов Б. А., Котельников Г. П., Углова М. В. Основы статистического анализа и математического моделирования в медико-биологических исследованиях. Самара: Самарский Дом печати, 1994. С. 25–45.
14. Кирьянов Б. Ф., Токмачев М. С. Математические модели в здравоохранении. В. Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого., 2009. 279 с.
15. Углова М. В., Котельников Г. П. Математическое моделирование в теоретической и практической медицине: сб. науч. работ. Самара: СГМУ, 1994. 110 с.
16. Пономарев А. В. Диагностика дисфункций височно-нижнечелюстного сустава: дис. ... канд. мед. наук. Самара, 2003. 137 с.
17. Деревянкина А. Ю. Неполная адентия: значение математического моделирования // Материалы II Всероссийской с международным участием 74-й студенческой научно-практической конференции «Молодые ученые — здравоохранению». Самара: СГМУ, 2013. С. 229.
18. Джалалова М. В., Ерошин В. А. Математическое моделирование в задачах стоматологии // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2001. Вып. № 4–2. С. 421–422.
19. Наумович С. А., Крушевский А. Е. Математическое моделирование равновесия периодонта зуба // Современная стоматология. 1997. № 2. С. 17–19.
20. Русаков С. В., Изюмов Р. И., Свистков А. Л., Гилева О. С., Муравьева М. А. Математическое моделирование кариозных процессов, протекающих в зубной эмали, и процесса лечения начального кариеса по технологии ICON // Российский журнал биомеханики. 2013. Т. 17. № 2 (60). С. 93–106.

Для цитирования: Пономарев А. В. Системный многофакторный анализ в прогнозировании риска развития синдрома болевой дисфункции ВНЧС // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 11. Медицина. 2016. Вып. 3. С. 79–94. DOI: 10.21638/11701/spbu11.2016.308.

References

1. Timofeeva M. I., Maltsev S. N., Zubarev V. A. [Century evaluation of the functional state of the masseter and temporal muscles in the TMJ]. *Ocherki mediko-sotsial'noi reabilitatsii detei s problemami zdorov'ia. Chast' II* [неперевод]. Екатеринбург, 1995, pp. 41–44. (In Russian)
2. Dos Reis A. C., Hotta T. H., Ferreira-Jeronymo R. R. et al. Ear symptomatology and occlusal factors: A clin. rep. *J. Prosthet. Dent.*, 2000, vol. 83, no. 1, pp. 21–24.
3. Semeleva E. I. *Diagnostika i lechenie zucheliustnykh anomalii, oslozhnennykh osteoartrozom visochno-nizhneliustnykh sustavov*. Kand. dis. [Diagnosis and treatment of dento-maxillary anomalies, complicated osteoarthritis of the temporomandibular joints. PhD diss.]. St. Petersburg, 2014. 117 p. (In Russian)
4. Badanin V. V. *Kliniko-rentgenologicheskie issledovaniia i magnitno-rezonansnaia tomografiia v diagnostike funktsional'nykh narushenii visochno-nizhneliustnogo sustava i ikh ortopedicheskoe lechenie*. Avtoref. dis. d-ra med. nauk [Centuries Clinical and x-ray studies and magnetic resonance imaging in the diagnosis of functional disorders of the temporomandibular joint and orthopedic treatment. Thesis of Doct. diss.]. Moscow, 2002. 54 p. (In Russian)
5. Khvatova A. *Klinicheskaiia gnatologiya* [Clinical gnathology]. Moscow, Medicina Publ., 2008. 296 p. (In Russian)
6. Petrosov Y. A., Ermolenko R. N., Seferyan N. Y., Kalpakian O. Yu. Faktory riska v vozniknovenii disfunktsii v visochno-nizhneliustnom sustave [Risk Factors in causing dysfunction in the temporomandibular joint]. *Sovremennaiia ortopedicheskaiia stomatologiya*, 2007, no. 8, pp. 100–101. (In Russian)
7. Karakov K. G., Khachatryan E. E., Sargisyan A. E., Eremenko A. V. [Neurological disorders in the structure of the syndrome of dysfunction of the temporomandibular joint]. *Materialy 49 Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Aktual'nye voprosy stomatologii"* [Topical issues of stomatology]. Stavropol', 2014, pp. 148–151. (In Russian)
8. Khachatryan E. E. *Kompleksnyi podkhod k diagnostike i terapii bovoi disfunktsii visochno-nizhneliustnogo sustava*. Avtoref. dis. d-ra med. nauk [A Comprehensive approach to the diagnosis and therapy of painful dysfunction of the temporomandibular joint (TMJ)]. Thesis of doct. diss.]. Moscow, 2013. 35 p. (In Russian)
9. Shcherbakov A. S., Petrikas I. C., Bulanov V. I., Zaharko M. V. Izuchenie rasprostranennosti i diagnostika funktsional'nykh narushenii VNChS u lits molodogo vozrasta [A study on the prevalence and diagnosis of functional disorders of the temporomandibular joint in young adults]. *Institut stomatologii*, 2013, no. 1 (58), pp. 18–19. (In Russian)
10. Potapov B. N. *Sistemnyi podkhod k obosnovaniyu novykh metodov diagnostiki i kompleksnomu lecheniiu zabolivaniy visochno-nizhneliustnogo sustava pri narushenii funktsional'noi okkluzii*. Avtoref. dis. d-ra med. nauk [A Systematic approach to the study of new methods of diagnosis and complex treatment of diseases of the temporomandibular joint in violation functional occlusion. Thesis of doct. diss.]. Samara, 2010. 247 p. (In Russian)
11. Silantyeva E. N. Vozrastnye osobennosti sindroma bovoi disfunktsii VNChS [Age-related features of the syndrome of pain TMJ]. *Kazanskii meditsinskii zhurnal*, 2010, no. 5, pp. 669–675. (In Russian)
12. Adonyeva A. C., Doronin B. M., Brega I. N., Voropai, N. G., Sysolyatin P. G. Pervichnaia diagnostika i lechenie miofatsial'nogo bolevogo sindroma litsa v usloviakh ambulatornogo stomatologicheskogo priema [Diagnosis and treatment of myofascial pain syndrome persons in outpatient dental treatment]. *Lechashchii vrach*, 2011, no. 5, pp. 16–24. (In Russian)
13. Uglov B. A., Kotelnikov G. P., Uglova M. V. *Osnovy statisticheskogo analiza i matematicheskogo modelirovaniia v mediko-biologicheskikh issledovaniiaakh* [Fundamentals of statistical analysis and mathematical modeling in biomedical research]. Samara, 1994, pp. 25–45. (In Russian)
14. Kiryanov B. F. Tokmachev M. C. *Matematicheskie modeli v zdravookhranении* [Mathematical models in health care]. Veliky Novgorod, Novgorod State Univ. Press, 2009, pp. 21–22. (In Russian)
15. Uglova M. V., Kotelnikov G. P. *Matematicheskoe modelirovanie v teoreticheskoi i prakticheskoi meditsine: sb. nauch. rabot* [Mathematical modeling in theoretical and practical medicine. Collection of scientific works]. Samara, SSMU Publ., 1994, pp. 2–3. (In Russian)
16. Ponomarev A. V. *Diagnostika disfunktsii visochno-nizhneliustnogo sustava*. Kand. dis. [Diagnosis of dysfunctions of the temporomandibular joint (TMJ)]. PhD diss.]. Samara, 2003. 137 p. (In Russian)

17. Derevyankin A. Y. [Partial edentulous: the value of mathematical modeling]. *Materialy II Vserossiiskoi s mezhdunarodnym uchastiem, 74 studencheskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Molodye uchenye — zdavookhraneniui"* [неперевод]. Samara, SSMU Publ., 2013, p. 229. (In Russian)

18. Djalalova M. V., Eroshin V. A. Matematicheskoe modelirovanie v zadachakh stomatologii [Mathematical modeling in problems of dentistry]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo*, 2001, vol. 4–2, pp. 421–422. (In Russian)

19. Naumovich S. A., Kruszewski A. E. Matematicheskoe modelirovanie ravnovesiia periodonta zuba [Mathematical modeling of equilibrium periodontal tooth]. *Sovremennaiia stomatologiii*, 1997, no. 2, pp. 17–19. (In Russian)

20. Rusakov S. V., Iziunov R. I., Svistkov A. L., Gileva O. S., Muravyova M. A. Matematicheskoe modelirovanie karioznykh protsessov, protekaiushchikh v zubnoi emali, i protsessa lecheniia nachal'nogo kariesa po tekhnologii ICON [Mathematical modeling of carious processes in the tooth enamel, and treatment of initial caries ICON technology]. *Rossiiskii zhurnal biomekhaniki*, 2013, vol. 17, no. 2(60), pp. 93–106. (In Russian)

For citation: Ponomarev A. V. System multifactor analysis in prediction of risk of development of pain dysfunction syndrome TMJ. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 11. Medicine*, 2016, issue 3, pp. 79–94. DOI: 10.21638/11701/spbu11.2016.308.

Статья поступила в редакцию 27 июня 2016 г.

Контактная информация

Пономарев Андрей Викторович — кандидат медицинских наук; nauka@medgum.ru

Ponomarev Andrey V. — PhD; nauka@medgum.ru